Bureau de la sécurité des transports du Canada
Transportation Safety Board of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE A17Q0050

Collision avec des câbles

Exact Air Inc.
Piper PA-31 (C-FQQB)
Aéroport de Schefferville (Québec), 3,5 nm NW
30 avril 2017

Canada

Bureau de la sécurité des transports du Canada
Place du Centre
200, promenade du Portage, 4e étage
Gatineau QC K1A 1K8
819-994-3741
1-800-387-3557
www.bst.gc.ca
communications@bst.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par
le Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2018

Rapport d'enquête aéronautique A17Q0050

No de cat. TU3-5/17-0050F-PDF
ISBN 978-0-660-26992-4

Le présent rapport se trouve sur le site Web
du Bureau de la sécurité des transports du Canada
à l'adresse www.bst.gc.ca

This report is also available in English.

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet événement dans le but de promouvoir la sécurité des transports. Le Bureau n'est pas habilité à attribuer ni à déterminer les responsabilités civiles ou pénales.

Rapport d'enquête aéronautique A17Q0050

Collision avec des câbles
Exact Air Inc.
Piper PA-31 (C-FQQB)
Aéroport de Schefferville (Québec), 3,5 nm NW
30 avril 2017

Résumé

Le Piper PA-31 (immatriculé C-FQQB, numéro de série 31-310) exploité par Exact Air Inc., avec 2 pilotes à son bord, effectuait son 2e vol de relevés magnétométriques de la journée à partir de l'aéroport de Schefferville (Québec), selon les règles de vol à vue. À 13 h 36, heure avancée de l'Est, l'aéronef a décollé et s'est dirigé vers la zone de travail située à environ 90 milles marins au nord-ouest de l'aéroport. Après avoir effectué le travail de relevés magnétométriques à 300 pieds au-dessus du sol, l'aéronef a entrepris son segment de vol de retour vers l'aéroport de Schefferville. À ce moment, l'aéronef est descendu et a survolé le relief à une altitude variant entre 100 et 40 pieds au-dessus du sol. À 17 h 56, alors que l'aéronef survolait une voie ferrée, il a percuté les câbles conducteurs d'une ligne de transport d'électricité et s'est écrasé au sommet d'un dépôt de résidus miniers à environ 3,5 milles marins au nord-ouest de l'aéroport de Schefferville. Les 2 occupants ont subi des blessures mortelles. L'accident s'est produit durant les heures de clarté. À la suite de l'impact, il n'y a pas eu d'incendie et aucun signal de radiobalise de repérage d'urgence n'a été capté.

This report is also available in English.

Table des matières

1.0 Renseignements de base 1

1.1 Déroulement du vol 1
1.2 Tués et blessés 3
1.3 Dommages à l'aéronef 3
1.4 Autres dommages 4
1.5 Renseignements sur le personnel 4
1.5.1 Généralités 4
1.5.2 Expérience de vol 4
1.5.3 Formation de l'équipage de conduite 5
1.5.4 Fatigue 5
1.6 Renseignements sur l'aéronef 6
1.7 Renseignements météorologiques 6
1.8 Aides à la navigation 7
1.8.1 Cartes aéronautiques de navigation 7
1.9 Communications 7
1.10 Renseignements sur l'aérodrome 8
1.11 Enregistreurs de bord 8
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact 8
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques 10
1.14 Incendie 10
1.15 Questions relatives à la survie des occupants 10
1.15.1 Radiobalise de repérage d'urgence 11
1.15.2 Utilisation des ceintures de sécurité des membres d'équipage 12
1.16 Essais et recherche 13
1.16.1 Analyse des données du système mondial de localisation 13
1.16.2 Rapports de laboratoire du BST 13
1.17 Renseignements sur les organismes et sur la gestion 13
1.17.1 Exact Air Inc. 13
1.17.2 Transports Canada, Aviation civile – Surveillance réglementaire 15
1.18 Renseignements supplémentaires 16
1.18.1 Le travail de relevés magnétométriques 16
1.18.2 Le vol à basse altitude 16
1.18.3 Visibilité des câbles 20
1.18.4 La surveillance des vols 23
1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces 28

2.0 Analyse 29

2.1 Retour depuis la zone de travail 29
2.1.1 Le vol à très basse altitude 29
2.1.2 Les câbles de lignes de transport d'électricité 30
2.2 La surveillance des vols et le suivi des vols 33

2.2.1 Suivi du temps de vol, du temps de service de vol et des périodes de repos....33
2.2.2 Suivi des données de vol et systèmes d'enregistrement des données de vol légers34
2.2.3 Systèmes de gestion de la sécurité....35
2.3 Survie des occupants à la suite de l'impact....36
2.3.1 Dispositif de retenue....36
2.3.2 Radiobalise de repérage d'urgence....36

3.0 Faits établis....37
3.1 Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs....37
3.2 Faits établis quant aux risques....37

4.0 Mesures de sécurité....39
4.1 Mesures de sécurité prises....39
4.1.1 Exact Air Inc....39

1.0 *Renseignements de base*

1.1 *Déroulement du vol*

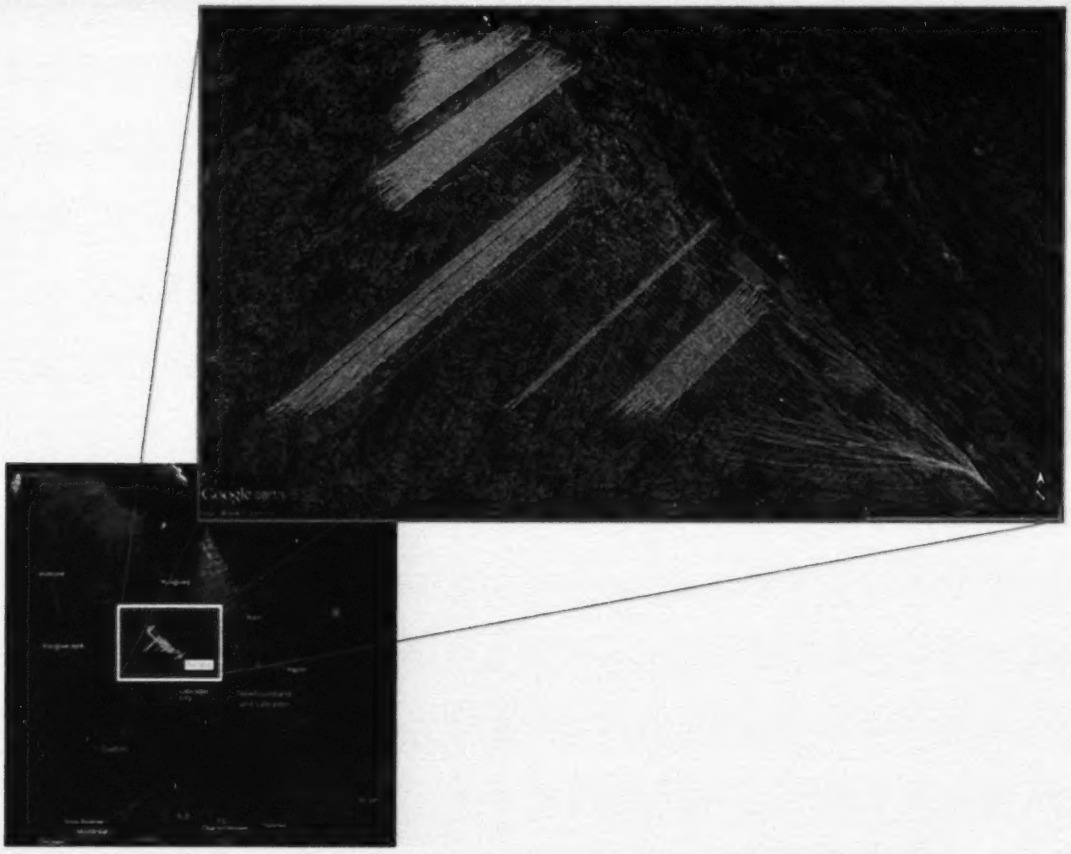
Le 30 avril 2017, le Piper PA-31 (immatriculé C-FQQB, numéro de série 31-310), exploité par Exact Air Inc., effectuait du travail aérien[1] de relevés magnétométriques dans la région de l'aéroport de Schefferville (CYKL) (Québec). L'aéronef était accompagné d'un 2e aéronef (immatriculé C-FVTL), également exploité par Exact Air Inc., qui lui aussi effectuait du travail aérien de relevés magnétométriques dans la même zone. Ces vols étaient effectués selon les règles de vol à vue (VFR).

Ce travail de relevés magnétométriques était effectué à basse altitude (300 pieds au-dessus du sol [AGL]) au-dessus d'une zone préalablement déterminée selon un profil de vol préétabli par le client. Chaque aéronef avait à son bord 2 pilotes qui se partageaient par alternance le rôle de pilote aux commandes durant les segments de vol généralement répartis sur 2 blocs de vol journaliers pouvant durer jusqu'à 5 heures chacun. Un bloc de vol typique comprenait un décollage à partir de l'aéroport de Schefferville, considéré comme la base d'exploitation, un segment de vol vers la zone de travail, de multiples segments de vol parallèles à une altitude de 300 pieds AGL dans la zone de travail, et un segment de vol de retour suivi de l'atterrissage à la base (figure 1).

---

1 Le travail était effectué conformément à la sous-partie 702 du *Règlement de l'aviation canadien*, Opérations de travail aérien.

Figure 1. Tracés pour une période de 7 jours représentant les zones de travail de relevés et les segments de vol entre la base d'exploitation et les zones de travail effectués par l'aéronef en cause lors de l'événement à l'étude (Source : Google Earth, avec annotations du BST)



Le jour de l'accident, après avoir effectué un premier bloc de vol d'une durée de 5 heures, les 2 aéronefs sont revenus à la base et ont été avitaillés.

Vers 13 h 36,[2] les 2 aéronefs avec les mêmes équipages ont décollé de nouveau et se sont dirigés vers la zone de travail.

Vers 17 h 38, après avoir effectué le travail, les 2 aéronefs ont débuté leur segment de vol de retour vers CYKL. À ce moment, le C-FQQB précédait le C-FVTL d'une dizaine de minutes et se trouvait à environ 53 milles marins (nm) au nord-ouest de CYKL. Le C-FQQB s'est dirigé vers l'aéroport et est descendu à une altitude qui variait entre 100 et 40 pieds AGL.

À 17 h 56, alors qu'il survolait une voie ferrée, l'aéronef a percuté les câbles conducteurs d'une ligne de transport d'électricité et s'est écrasé au sommet d'un dépôt de résidus miniers situé à environ 3,5 nm au nord-ouest de CYKL[3] (figure 2). Bien qu'aucun incendie ne se soit

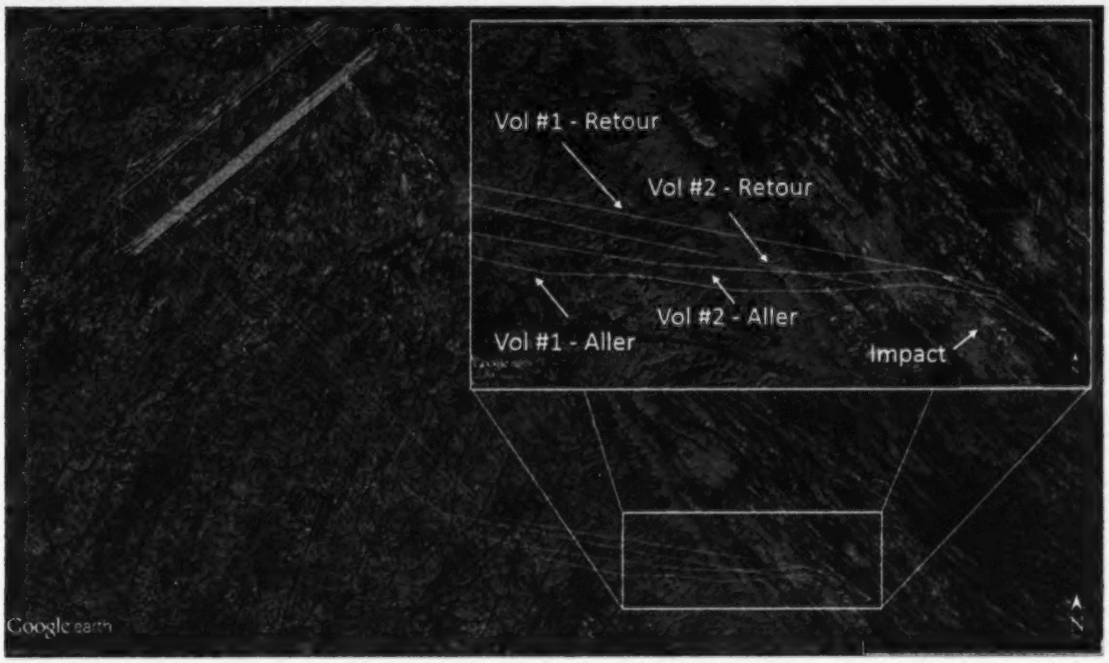
---

2 Les heures sont exprimées en heure avancée de l'Est (temps universel coordonné moins 4 heures).

3 L'aéronef s'est écrasé aux coordonnées 54°49'12.309" N, 066°54'28.297" W.

déclaré, l'aéronef a été complètement détruit par les forces de l'impact, et les 2 pilotes ont subi des blessures mortelles. Aucun signal de radiobalise de repérage d'urgence (ELT) n'a été capté.

Figure 2. Les 2 vols de C-FQQB le jour de l'accident. L'agrandissement montre les segments de vol à très basse altitude. (Source : Google Earth, avec annotations du BST)



Dès leur arrivée à la base d'exploitation, les 2 pilotes du C-FVTL ont constaté que le C-FQQB n'était toujours pas au sol. Après des tentatives de contact radio qui sont demeurées vaines, des recherches ont été entreprises. Moins d'une heure plus tard, l'épave de l'aéronef manquant a été localisée.

1.2 *Tués et blessés*

Tableau 1. Tués et blessés

	Équipage	Passagers	Autres	Total
Tués	2	-	-	2
Blessés graves	0	-	-	0
Blessés légers / indemnes	0	-	-	0
Total	2	-	-	2

1.3 *Dommages à l'aéronef*

L'aéronef a été détruit par les forces d'impact. Aucun incendie ne s'est déclaré.

1.4 Autres dommages

Les 3 câbles conducteurs de la ligne de transport d'électricité ont été sectionnés. Moins de 252 L d'essence aviation se sont infiltrés dans le sol.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Généralités

Les dossiers indiquent que l'équipage de conduite possédait les licences et les qualifications nécessaires pour effectuer le vol, conformément à la réglementation en vigueur (tableau 2).

Tableau 2. Renseignements sur le personnel

	Commandant de bord	Copilote
Licence de pilote	Licence de pilote professionnel (CPL)	Licence de pilote professionnel (CPL)
Date d'expiration du certificat médical	1er juillet 2017	1er octobre 2017
Heures de vol total	461,7	1693
Heures de vol sur type	110,7	(estimé) 650
Heures de vol au cours des 7 derniers jours	31,9	31,9
Heures de vol au cours des 30 derniers jours	110,7	102,9
Heures de vol au cours des 90 derniers jours	114,7	176,4
Heures de vol sur type au cours des 90 derniers jours	110,7	176,4
Heures de service avant l'événement	12	12
Heures de congé avant la période de travail	48	48

1.5.2 Expérience de vol

Le commandant de bord était à l'emploi de l'entreprise depuis mars 2016. Il en était à son premier contrat de relevés magnétométriques et avait effectué environ 16 vols à titre de copilote, afin de se familiariser avec ce type de travail aérien avant d'être assigné à titre de commandant de bord la semaine précédant le jour de l'accident. Au moment de l'événement à l'étude, il est fort probable que le commandant de bord était le pilote aux commandes, assis dans le siège de gauche.

Le copilote était à l'emploi de l'entreprise depuis septembre 2014. Il en était à son 4e contrat de relevés magnétométriques et avait initié le commandant de bord du vol de l'événement, lors des premiers vols de ce contrat. Au moment de l'accident, le copilote était le pilote surveillant, assis dans le siège de droite.

Les 2 pilotes alternaient les rôles de commandant de bord et copilote à chaque vol.

Les pilotes se sont rendus à CYKL le 11 avril et ont commencé le travail de relevés magnétométriques le lendemain. Pendant les 19 jours suivants, les 2 pilotes ont effectué

21 vols de relevés magnétométriques en 12 jours de travail. Les 2 pilotes ont cumulé environ 94 heures de vol, pour une moyenne journalière de 7,8 heures de vol et 10,3 heures en service de vol.

1.5.3 Formation de l'équipage de conduite

1.5.3.1 Formation spécifique aux opérations de travail aérien

Selon le *Règlement de l'aviation canadien* (RAC)[4], pour pouvoir effectuer des opérations de travail aérien, les membres d'équipage de conduite doivent avoir réussi un contrôle de compétence pilote (CCP) ou une vérification de compétence sur le type d'aéronef utilisé. La vérification de compétence est administrée par un pilote vérificateur agréé (PVA)[5], ou le pilote désigné par le chef-pilote et ayant les qualifications nécessaires pour donner la formation.

Les 2 pilotes de l'événement à l'étude avaient reçu leur formation à partir du siège de gauche, à titre de commandant de bord. Le copilote et le commandant de bord avaient réussi leur vérification de compétence le 8 juillet 2016 et le 31 mars 2017 respectivement.

1.5.3.2 Formation supplémentaire

Même si la règlementation ne l'exigeait pas, l'entreprise a décidé d'ajouter un 2e pilote à bord des vols de relevés magnétométriques et a donné de la formation supplémentaire aux pilotes à partir du siège de droite en utilisant les procédures d'utilisation normalisées (SOP), incluant, entre autres, les approches aux instruments avec le système mondial de localisation (GPS). Par la suite, bien que n'étant pas requis pour les vols de relevés magnétométriques, les pilotes ont subi un CCP à titre de copilote, en préparation pour d'éventuels vols de taxi aérien effectués en vertu de la sous-partie 703 du RAC. Le CCP est effectué par un inspecteur de Transports Canada (TC) ou par un PVA de l'entreprise.

Le copilote et le commandant de bord avaient réussi leur CCP le 29 septembre 2016 et le 6 avril 2017 respectivement.

1.5.4 Fatigue

L'enquête n'a pas permis d'obtenir de données relatives au sommeil pour les pilotes en cause et, par conséquent, une analyse complète de la fatigue n'a pas pu être réalisée. Cependant, les pilotes avaient eu la possibilité d'obtenir un repos suffisant entre les périodes de service de vol les 19, 20 et 24 avril, et avaient bénéficié de 2 jours de congé précédant la journée de l'accident. Ainsi, les pilotes avaient eu l'occasion d'obtenir un repos suffisant avant le jour des vols à l'étude et il est peu probable qu'ils étaient dans un état de fatigue physiologique au moment de l'accident.

---

4 Transports Canada, DORS/96-433, *Règlement de l'aviation canadien*, alinéa 702.65c).

5 Des informations sur le programme de PVA se trouvent sur le site Web de Transports Canada : https://www.tc.gc.ca/fra/aviationcivile/normes/commerce-normesoperationnelles-pva-menu-380.htm (dernière consultation le 18 juin 2018).

1.6 *Renseignements sur l'aéronef*

Les dossiers indiquent que l'aéronef était certifié, équipé et entretenu conformément aux règlements en vigueur et aux procédures approuvées et ne présentait aucune anomalie connue avant le vol à l'étude (tableau 3).

Tableau 3. Renseignements sur l'aéronef

Constructeur	Piper
Type et modèle	PA-31
Année de construction	1968
Numéro de série	31-310
Date d'émission du certificat de navigabilité	20 juin 2016
Total d'heures de vol cellule	20 180 heures
Type de moteur (nombre)	TEXTRON LYCOMING TIO-540-A2B (2)
Type d'hélice ou de rotor (nombre)	HARTZELL HC-E2YK-2RBSF (2)
Masse maximale autorisée au décollage	6500 livres
Type(s) de carburant recommandé(s)	Essence d'aviation 100/130
Type de carburant utilisé	Essence d'aviation 100/130

La masse et le centre de gravité de l'aéronef étaient en deçà des limites prescrites par le fabricant au moment de l'événement. Rien n'indique qu'il y ait eu une défaillance de la cellule, des moteurs ou un mauvais fonctionnement d'un système avant la collision. Tous les dommages subis par l'avion étaient représentatifs de forces excessives subies lors des impacts avec les câbles et le sol.

1.7 *Renseignements météorologiques*

La prévision de zone graphique (GFA) de la région de l'Atlantique[6] valide au moment de l'accident montre un centre de haute pression environ 200 nm à l'ouest de CYKL. Selon la GFA, les conditions météorologiques dans la région de CYKL étaient propices au vol à vue avec un ciel dégagé et des vents de surface soufflant du nord.

Le message d'observation météorologique régulière (automatique) pour l'aviation (METAR AUTO) émis à 18 h[7] pour CYKL, soit environ 4 minutes après l'accident, signalait des vents soufflant du 320° vrais (V) à 17 nœuds avec des rafales pouvant atteindre 23 nœuds; une visibilité de 9 miles terrestres et un ciel dégagé. La température était de −3 °C, le point de rosée −13 °C et le calage altimétrique 30,09 pouces de mercure. Rien n'indique que les conditions météorologiques ont pu jouer un rôle dans l'événement à l'étude.

---

6 GFACN34 émise par NAV CANADA le 30 avril 2017 à 23 h 31 temps universel coordonné (UTC) et valide jusqu'au 1er mai 2017 à 0 h UTC.

7 Le METAR se lisait comme suit : CYKL 302200Z AUTO 32017G22KT 9SM CLR M03/M13 A3009 RMK SLP231.

1.8 Aides à la navigation

1.8.1 Cartes aéronautiques de navigation

Les cartes de navigation constituent un des outils que les pilotes peuvent utiliser pour repérer les lignes de transport d'électricité. Selon NAV CANADA,

> Les cartes aéronautiques de navigation VFR (VNC) sont utilisées par les pilotes VFR pour des vols de courtes et de longues distances, dans tout le Canada, à des altitudes basses à intermédiaires et à des vitesses relatives faibles à moyennes[8].

La carte qui couvrait la zone de travail à l'étude était la VNC de Wabush (AIR 5019). NAV CANADA publie les VNC relatives à l'espace aérien canadien conformément aux normes de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI)[9].

D'après l'OACI, toutes les structures de plus de 300 pieds (environ 90 m) de hauteur constituent des obstacles et doivent figurer sur les VNC. NAV CANADA considère que les références à des éléments culturels de hauteur inférieure doivent être montrées exclusivement à des fins de navigation plutôt que d'évitement d'obstacles. Tous les obstacles ne sont pas indiqués sur les cartes, car il est à peu près impossible de garantir qu'ils y figurent tous; de plus, les éléments géographiques ou aéronautiques ne peuvent pas tous être représentés.

La ligne de transport d'électricité qui a été percutée par l'aéronef en cause ne figurait pas sur la VNC de Wabush et aucune exigence réglementaire n'imposait qu'elle y apparaisse. En général, les lignes de transport d'électricité figurent sur les VNC parce qu'elles constituent des repères culturels utiles qui peuvent faciliter la navigation à vue. Elles sont représentées selon la disponibilité de données sources. Des tronçons des lignes de transport d'électricité peuvent être supprimés ou masqués pour assurer la lisibilité à l'échelle des cartes (1:500 000). Selon les règles figurant dans les spécifications, d'autres repères culturels linéaires, comme les routes et les voies ferroviaires, ont priorité sur les lignes de transport d'électricité lorsque leur proximité pose des problèmes de lisibilité (par exemple, lorsque du texte et des éléments se chevauchent).

L'enquête n'a pas permis de déterminer si l'équipage de conduite avait en sa possession la carte ou si elle a été consultée avant le départ.

1.9 Communications

Sans objet.

---

8 NAV CANADA, « Cartes de navigation VFR (VNC) », disponible à l'adresse http://www.navcanada.ca/FR/products-and-services/Pages/aeronautical-information-products-charts-VFR-navigational-charts.aspx (dernière consultation le 18 juin 2018).

9 Organisation de l'aviation civile internationale, annexe 4 à la Convention relative à l'aviation civile internationale – Cartes aéronautiques, onzième édition (juillet 2009).

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

L'aéroport de Schefferville est adjacent à la ville de Schefferville (Québec) et comporte une seule piste asphaltée (17/35) d'une longueur de 5002 pieds et d'une largeur de 150 pieds.

1.11 Enregistreurs de bord

L'aéronef n'était muni d'aucun enregistreur de bord, que ce soit des données de vol (FDR) ou des conversations de poste de pilotage (CVR), et la réglementation en vigueur n'en exigeait aucun.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

L'accident est survenu à l'embouchure d'un vallon créé artificiellement par un ancien dépôt de résidus miniers situé de chaque côté d'une voie ferrée (figure 3). Une ligne de transport électrique croisait la voie ferrée immédiatement avant l'embouchure du vallon.

À la suite de la collision avec les câbles, l'aéronef a continué son vol en déviant vers la gauche avant de percuter le sol tout près du sommet de la pente ascendante du dépôt minier du côté est, approximativement 1400 pieds au sud-est du point d'impact avec la ligne de transport d'électricité.

La ligne de transport d'électricité auxiliaire de 69 kV qui a été percutée par l'aéronef est exploitée par Hydro-Québec[10]. Au point d'impact, la ligne croise la voie ferroviaire à une hauteur de 70 pieds avec un angle approximatif de 45°. Le segment de ligne qui a été sectionné avait une portée de 944 pieds et était suspendu entre 2 structures de bois (pylônes) supportant 3 câbles conducteurs de 0,56 pouce de diamètre composés de 6 brins d'aluminium et de 1 brin d'acier. Au moment de l'accident, la ligne faisait l'objet d'une recherche de défaillance et n'était pas sous tension.

Les 3 câbles ont été sectionnés et 2 sont restés accrochés au moteur gauche de l'aéronef jusqu'à leur extension maximale avant d'être à nouveau sectionnés à leur point d'ancrage sur l'aéronef.

---

[10] Hydro-Québec est une société d'État du gouvernement du Québec.

Figure 3. Détails relatifs au site de l'accident (Source : Google Earth, avec annotations du BST)

L'épave de l'aéronef a été retrouvée au sommet du plateau à quelque 134 pieds à l'est du point d'impact initial avec le sol (figure 4). Le moteur gauche, séparé de l'épave (figure 5), ainsi que l'hélice, reposaient un peu plus loin. Des sections de câbles conducteurs étaient enroulées autour de l'arbre d'entraînement de l'hélice du moteur gauche. Toutes les sections principales de l'aéronef étaient présentes. Les volets et le train d'atterrissage étaient en position rentrés. Les manettes des gaz étaient à la position de puissance maximale.

Figure 4. Épave du C-FQQB

Figure 5. Moteur gauche du C-FQQB : le cercle marque les sections de câbles enroulés autour de l'arbre moteur

1.13 *Renseignements médicaux et pathologiques*

L'analyse toxicologique des pilotes n'a révélé aucune substance qui aurait pu nuire au rendement de l'équipage. L'examen des dossiers médicaux des pilotes par TC n'a révélé aucun élément médical ou pathologique qui aurait pu avoir une incidence sur le rendement des pilotes.

1.14 *Incendie*

Aucun incendie ne s'est déclaré avant ou après l'impact.

1.15 *Questions relatives à la survie des occupants*

Les dommages subis par l'aéronef et les forces d'impact lors de l'événement à l'étude n'offraient aucune chance de survie[11].

---

11 [Traduction] « Un accident offrant des chances de survie est un accident lors duquel la force subie par l'occupant, par l'intermédiaire du siège et du dispositif de retenue, n'excède pas les limites de la tolérance humaine aux accélérations brusques et lors duquel la structure de l'environnement immédiat de l'occupant demeure relativement intacte au point de maintenir un volume viable durant l'écrasement. » (Source : National Transportation Safety Board des États-Unis, Safety Report, NTSB/SR-83/01, *General Aviation Crashworthiness Project, Phase One*, 27 juin 1983, p. 3.)

1.15.1 Radiobalise de repérage d'urgence

L'aéronef était muni d'une ELT émettant sur la fréquence 406 MHz. Toutefois, aucun signal d'ELT n'a été capté[12] par le système Cospas-Sarsat. La tension de la batterie de l'ELT a été mesurée à 0 volt 72 heures après l'écrasement et l'antenne de l'ELT et son câble coaxial avaient été endommagés.

Lors de son enquête concernant l'impact sans perte de contrôle d'un hélicoptère à proximité de Moosonee (Ontario)[13], survenu en mai 2013, le BST a exprimé des préoccupations concernant la résistance à l'impact des ELT. Le BST a aussi relevé des accidents précédents au cours desquels une antenne d'ELT s'était brisée ou son fil avait été endommagé pendant la séquence de collision, de sorte qu'aucun signal n'avait été capté par le système de recherche et sauvetage par satellite. L'enquête relative à l'événement de 2013 a déterminé que bien que les spécifications de conception relatives à la résistance à l'impact étaient rigoureuses pour l'ELT proprement dit, elles l'étaient beaucoup moins pour d'autres éléments clés du système (c'est-à-dire, le câblage et l'antenne).

À la suite de cet événement, le Bureau a recommandé que

> l'Organisation de l'aviation civile internationale établisse de rigoureuses normes relatives à la capacité de résister à l'écrasement pour les systèmes ELT qui réduisent la probabilité qu'un système ELT cesse de fonctionner comme suite aux forces d'impact subies durant un événement aéronautique.
>
> **Recommandation A16-02 du BST**

> la Radio Technical Commission for Aeronautics établisse de rigoureuses spécifications relatives à la capacité de résister à l'écrasement pour les systèmes ELT qui réduisent la probabilité qu'un système ELT cesse de fonctionner comme suite aux forces d'impact subies durant un événement aéronautique.
>
> **Recommandation A16-03 du BST**

> l'Organisation européenne pour l'équipement électronique de l'aviation civile établisse de rigoureuses spécifications relatives à la capacité de résister à l'écrasement pour les systèmes ELT qui réduisent la probabilité qu'un système ELT cesse de fonctionner comme suite aux forces d'impact subies durant un événement aéronautique.
>
> **Recommandation A16-04 du BST**

> le ministère des Transports établisse de rigoureuses exigences relatives à la capacité de résister à l'écrasement pour les systèmes ELT qui réduisent la probabilité qu'un système ELT cesse de fonctionner comme suite aux forces d'impact subies durant un événement aéronautique.
>
> **Recommandation A16-05 du BST**

---

12 Les signaux de la radiobalise de repérage d'urgence sont captés par le système de surveillance de recherche et sauvetage par satellite du Centre conjoint de coordination de sauvetage.

13 Rapport d'enquête aéronautique A13H0001 du BST.

Le Bureau, encouragé par les réponses reçues de ces organismes à propos des mises à jour des normes industrielles relatives aux antennes, au câblage et à la résistance à l'impact, a évalué les réponses à ces recommandations comme dénotant une **intention satisfaisante**.

Cependant, les normes actuelles de conception des systèmes ELT n'imposent aucune contrainte en matière de résistance à l'impact du système d'antenne. Par conséquent, il y a un risque que l'intervention de services de recherche et de sauvetage pouvant sauver des vies soit retardée si l'antenne d'une ELT est endommagée au cours d'un événement.

1.15.2 Utilisation des ceintures de sécurité des membres d'équipage

En conformité avec l'article 702.44 du RAC, l'aéronef était muni de dispositifs de retenue composés de ceintures sous-abdominale et de ceintures-baudrier. L'enquête a révélé que le commandant de bord, qui était le pilote aux commande, assis à gauche, portait le dispositif de retenue complet mais que le copilote ne portait pas le sien, de sorte qu'il a été éjecté de l'aéronef.

Le BST a constaté que le risque de blessures graves ou de décès est accru chez les occupants d'aéronefs légers ne portant pas de dispositif de retenue du torse[14]. Des études sur la protection des occupants en cas d'accident menées aux États-Unis[15] et au Canada[16] indiquent que les probabilités de survie aux forces d'impact sont considérablement plus élevées lorsqu'un dispositif de retenue du torse protège les occupants de petits aéronefs de l'aviation générale. En 2010, la FAA a réalisé une étude portant sur 649 accidents survenus entre 2004 et 2009, dont 97 avaient entraîné des blessures graves ou mortelles. La FAA a déterminé qu'une protection accrue aurait permis d'éviter 40 % des décès et que des sièges de passagers équipés de ceintures-baudriers auraient permis de sauver près de la moitié des personnes décédées.

On sait que l'utilisation d'un dispositif de retenue à 3 ou 4 points d'ancrage (ceinture et baudrier) assure une répartition plus égale des forces d'impact et diminue la gravité des blessures à la partie supérieure du corps et à la tête[17]. Les passagers retenus et protégés ont de meilleures chances de survie lors d'un impact.

---

14 Bureau de la sécurité des transports du Canada, Étude de sécurité aéronautique SA9401, Étude de sécurité portant sur les possibilités de survie dans les accidents d'hydravions.

15 Federal Aviation Administration des États-Unis, Aviation Safety, Alaskan Region, *Fatal and Serious Injury Accidents in Alaska, A Retrospective of the years 2004 through 2009 with Special Emphasis on Post Crash Survival*, décembre 2010.

16 *Small Aircraft Crashworthiness*, volume 1, TP 8655E (préparé par Sypher : Mueller International inc., juillet 1987), p. 46; Bureau canadien de la sécurité aérienne, *Étude sur l'influence sur la sécurité aérienne du port des harnais de sécurité* (1987).

17 National Transportation Safety Board des États-Unis, Safety Report, NTSB/SR-85/01, *General Aviation Crashworthiness Project, Phase Two – Impact severity and potential injury prevention in General Aviation accidents*, 15 mars 1985.

1.16 Essais et recherche

1.16.1 Analyse des données du système mondial de localisation

Le GPS spécialisé pour le travail de relevés magnétométriques, dont les données n'étaient pas accessibles pour Exact Air, a enregistré la date, l'heure, la position, la vitesse et l'altitude de l'aéronef à toutes les secondes. Les données extraites du GPS ont permis de démontrer qu'à 17 h 38, après avoir complété le travail de relevés magnétométriques, l'aéronef est descendu à une altitude de moins de 100 pieds AGL, et ce, jusqu'au moment de sa collision avec les câbles à 17 h 56. Sa vitesse sol pendant la dernière minute avant l'impact était de 169 nœuds, ce qui correspond à 286 pieds par seconde.

1.16.2 Rapports de laboratoire du BST

Le BST a produit le rapport de laboratoire suivant dans le cadre de la présente enquête :

- LP128/2017 – Data Recovery [récupération de données]

1.17 Renseignements sur les organismes et sur la gestion

1.17.1 Exact Air Inc.

1.17.1.1 Généralités

Exact Air Inc. est détentrice d'un certificat d'exploitation aérienne pour ses activités assujetties aux sous-parties 406, 702 et 703 du RAC. Le siège social d'Exact Air Inc. est situé à l'aéroport de St-Honoré (Québec). Au moment de l'événement, l'entreprise exploitait une flotte de 34 aéronefs constituée de Beechcraft A100, Piper PA-31, Cessna 310, Cessna 182, Cessna 172 et Cessna 152.

1.17.1.2 Contrôle de l'exploitation

1.17.1.2.1 Autorisation et contrôle des vols

Selon le manuel d'exploitation d'Exact Air Inc., « Le gestionnaire des opérations a pour tâche de veiller à la sécurité des opérations aériennes[18] ». Dans ce contexte, le manuel stipule que :

> Tous les vols ou toutes les séries de vols [...] doivent être autorisés, avant le départ, par le directeur des opérations ou le chef-pilote [...]. Le directeur des opérations délègue au commandant de bord le contrôle d'exploitation d'un vol, mais il demeure responsable de l'exploitation de l'ensemble des vols[19].

---

18 Exact Air Inc., *Manuel d'exploitation d'EXACT AIR*, modification N° 27 (février 2015), paragraphe 1.4.1(ii), p. 1-3.

19 Ibid., section 2.1.1, p. 2-1.

1.17.1.2.2 Surveillance et suivi des vols

Afin d'assurer un suivi des opérations de vol, avant le décollage, le pilote informe l'entreprise par courriel de l'heure de départ prévue, de l'itinéraire et du temps de vol prévu. Un système de suivi des vols en ligne, fourni par le client, consigne la position et l'altitude de l'aéronef sur le serveur du fournisseur de service de suivi aux 2 minutes. Quoique ces données soient disponibles, Exact Air n'avait aucune politique opérationnelle en regard de leurs utilisations pour faire le suivi des vols en observant la position de l'aéronef en vol. Après l'atterrissage, le pilote informe l'entreprise par courriel que le vol est terminé.

1.17.1.2.3 Temps de vols et temps de service de vol

Selon le RAC[20], les exploitants aériens n'ont pas le droit d'assigner ni du temps de vol, ni du temps de service de vol à un membre d'équipage de conduite, s'il doit en résulter que le temps dépassera les heures maximales autorisées. De plus, les membres d'équipage de conduite n'ont pas le droit d'accepter une telle assignation.

Dans ce contexte, le RAC stipule que :

> le membre d'équipage de conduite qui atteint la limite de temps de vol établie au présent article est considéré comme fatigué et ne peut demeurer en service de vol ni être réaffecté au service de vol tant qu'il n'a pas eu la période de repos exigée aux articles 700.16 ou 700.19[21].

Exact Air Inc. utilise l'application FLTDUTY XLS pour contrôler le temps de vol, le temps de service de vol et les périodes de repos de chacun de ses membres d'équipage de conduite. À cette fin, « chaque pilote doit tenir à jour un registre de ses heures[22] ». Ces données sont par la suite envoyées au chef-pilote, le premier de chaque mois.

Le directeur des opérations, étant conscient que les pilotes à CYKL ont effectué plusieurs longs vols en un bref laps de temps, devait contrevérifier les heures effectuées afin de s'assurer que la limite de 60 heures par période de 7 jours consécutifs[23] n'allait pas être excédée. Ainsi, en utilisant un autre pilote qualifié comme commandant de bord qui était disponible à CYKL le 18 avril, les pilotes du vol à l'étude avaient effectué 59,7 et 59,9 heures de vol, respectivement, dans la semaine du 12 au 18 avril 2017.

1.17.1.3 Gestion de la sécurité des opérations

Tous les organismes ont l'obligation de gérer les risques associés à leurs activités d'exploitation aérienne. Les systèmes de gestion de la sécurité (SGS) fournissent le cadre

---

20 Transports Canada, DORS/96-433, *Règlement de l'aviation canadien*, paragraphes 700.15(1) et 700.16(1).

21 Ibid., paragraphe 700.15(3).

22 Exact Air Inc., *Manuel d'exploitation*, modification n° 27 (février 2015), paragraphe 3.10.1, p. 3-13.

23 Transports Canada, DORS/96-433, *Règlement de l'aviation canadien*, alinéa 700.15(1)e).

nécessaire pour y parvenir, et de nombreuses entreprises mettent en œuvre un SGS en bonne et due forme, soit volontairement, soit pour se conformer aux exigences du RAC[24] à cet égard. Même les petites entreprises doivent suivre des processus de sécurité pour gérer les risques.

À la base, la gestion des risques consiste à

- reconnaître et signaler les dangers;
- cerner et choisir des mesures pour atténuer ces dangers;
- attribuer la responsabilité de la gestion de ces mesures; et
- mesurer et surveiller l'efficacité des mesures et moyens de contrôle établis[25].

Après avoir évalué les risques et les exigences opérationnelles des vols de relevés magnétométriques à basse altitude, Exact Air a adopté les mesures suivantes pour minimiser les risques liés à ces vols :

- assigner 2 pilotes aux vols de relevés pour réduire la charge de travail et partager les segments de vol nécessitant une plus grande concentration; et
- donner de la formation en vol de relevés avec un pilote d'expérience avant d'assigner un pilote à titre de commandant de bord.

Les exploitants assujettis aux sous-parties 406, 702, 703 et 704 du RAC ne sont pas tenus de mettre en œuvre un SGS. En conséquence, Exact Air Inc. n'était pas tenu d'incorporer un SGS en bonne et due forme. L'entreprise a néanmoins élaboré volontairement un SGS, avec la publication du manuel SGS en février 2006.

Le BST a souligné à de nombreuses reprises les avantages des SGS. En effet, lorsqu'ils sont bien appliqués, ces systèmes permettent aux entreprises de gérer efficacement les risques et de rendre leurs opérations plus sécuritaires.

1.17.2 Transports Canada, Aviation civile – Surveillance réglementaire

En matière de surveillance réglementaire, TC a adopté « une approche contemporaine qui comprend des méthodes telles que des évaluations, des inspections de validation du programme (IVP) et des inspections de processus[26] ». Selon cette approche, « le rôle de TCAC est de s'assurer que toutes les entreprises disposent de systèmes efficaces pour veiller à satisfaire en permanence aux exigences en matière de réglementation et que les activités de surveillance confirment que ces systèmes demeurent efficaces[27] ».

---

24 Ibid., sous-partie 107.

25 A. J. Stolzer, C. D. Halford et J. J. Goglia, *Safety Management Systems in Aviation* (Aldershot : Ashgate, 2008), p. 157.

26 Transports Canada, Instruction visant le personnel, IPSUR-001, « Procédures de surveillance », édition 05, 28 juin 2013, p. 8.

27 Ibid., p. 9.

Le BST a examiné les activités de surveillance menées par TC et les réponses de l'entreprise au cours des 6 années précédant l'événement. À la suite des constatations de TC lors de la dernière IVP, en janvier 2016, l'entreprise a soumis un plan de mesures correctives le 7 septembre 2016, lequel a été accepté par TC.

Comme aucun SGS n'était requis par la réglementation, le SGS de la compagnie n'était pas assujetti à la surveillance et aux inspections de TC; ainsi, l'IVP ne l'a pas pris en compte.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Le travail de relevés magnétométriques

Le travail de relevés magnétométriques est effectué en utilisant un aéronef spécialement modifié qui est exploité à basse altitude en suivant des lignes de vols prédéterminées. Le profil de vol est généralement établi par le client qui fournit également l'équipement spécialisé embarqué ainsi que le support technique de cet équipement à l'exploitant de l'aéronef. Ce type de travail de relevés n'est effectué qu'en conditions VFR de jour et il arrive que certains facteurs, par exemple l'activité solaire qui peut influencer le champ magnétique de la planète, ne permettent pas la prise de relevés. Par conséquent, le temps de vol doit être maximisé lorsque les conditions sont propices.

Pendant le vol au-dessus de l'aire de travail, en plus d'effectuer les tâches normalement liées au pilotage, le pilote doit surveiller continuellement les renseignements affichés sur des indicateurs spécialisés afin de respecter le profil de vol nécessaire aux relèvements.

Les vols de relevés magnétométriques dans le cadre du contrat à CYKL consistaient en un segment de vol pour se rendre dans la zone de travail, l'exécution des lignes de vol parallèles à une altitude de 300 pieds AGL pour la prise de relevés, et le segment de vol de retour à l'aéroport. Comme les vols de relevés sont effectués à basse altitude, l'équipage avait fait un survol de repérage de la zone de travail, afin d'identifier les dangers potentiels. L'altitude de vol pour les segments d'aller et de retour n'était pas restreinte par le RAC ou la compagnie et n'avait pas à faire l'objet d'un survol de repérage, donc était laissée à la discrétion des pilotes.

1.18.2 Le vol à basse altitude

Selon le RAC, « il est interdit d'utiliser un aéronef [...] à une distance inférieure à 500 pieds de toute personne, tout navire, tout véhicule ou toute structure[28] ». Cependant, lorsqu'un aéronef ne survole aucune personne, navire, véhicule ou structure, et qu'il est exploité dans le cadre de travail aérien en vertu de la sous-partie 702 du RAC, il n'existe aucune limite d'altitude au-dessus du relief.

---

28 Transports Canada, DORS/96-433, *Règlement de l'aviation canadien*, alinéa 602.14(2)b).

Toutefois, il est quand même « interdit d'utiliser un aéronef d'une manière imprudente ou négligente qui constitue ou risque de constituer un danger pour la vie ou les biens de toute personne[29] ».

Le *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada* (AIM de TC) donne l'avertissement suivant, concernant le vol à basse altitude :

> **Attention! — Voler intentionnellement à basse altitude est dangereux. Transports Canada avise tous les pilotes que voler à basse altitude pour éviter du mauvais temps ou pour des raisons opérationnelles est une activité dangereuse[30].**

1.18.2.1 Vol à très basse altitude

Le jour de l'accident, l'équipage avait cumulé presque 10 heures de vol à basse altitude (300 pieds AGL) sur une période de 12 heures.

Le vol à très basse altitude[31] se distingue des vols de relevés magnétométriques à 300 pieds AGL qui eux sont exécutés selon un plan établi. Le vol à très basse altitude n'était pas nécessaire pour le travail de relevés magnétométriques effectué lors de ce contrat à CYKL.

Sur une période de 19 jours avant l'accident, les pilotes avaient effectué 21 vols de relevés magnétométriques à basse altitude. Pendant ces vols, l'analyse des données GPS a démontré que les pilotes de l'événement à l'étude avaient effectué 27 segments de vol lors des trajets aller-retour qui comprenaient des sections à très basse altitude (moins de 100 pieds AGL) sans incident (figure 6).

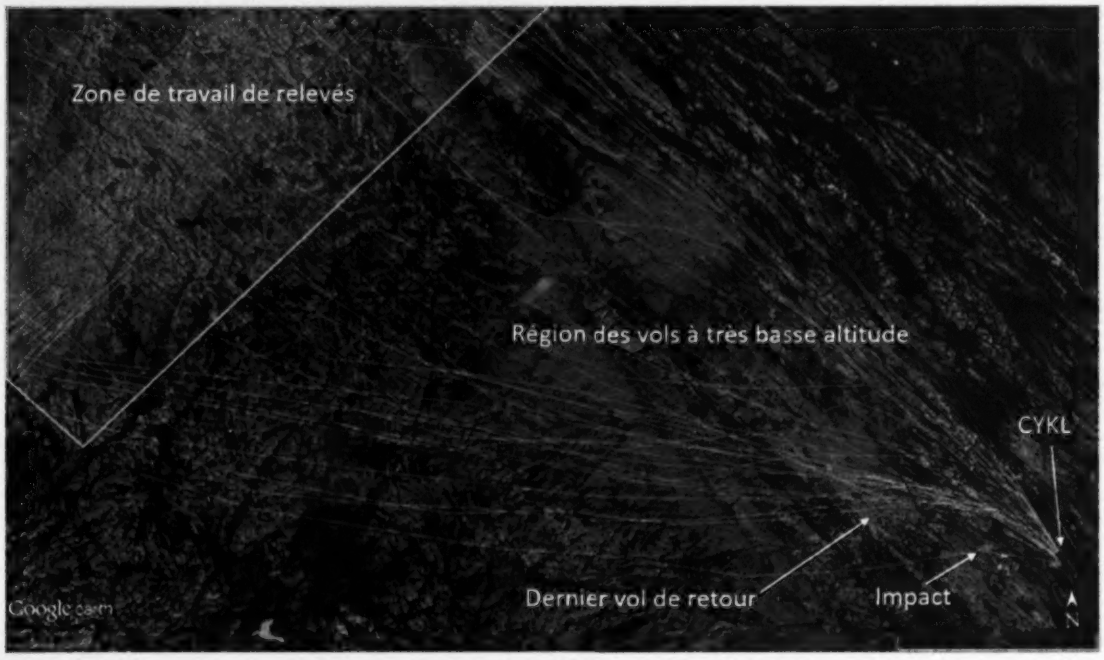
---

29 Ibid., article 602.01.

30 Transports Canada, TP 14371 F (2016-1), *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada*, AIR – Discipline aéronautique (31 mars 2016), article 2.4.1, p. 425.

31 Pour les fins de de ce rapport, le vol à très basse altitude se réfère aux portions de vol effectués à moins de 100 pieds AGL.

Figure 6. Région des vols à très basse altitude dans les 19 jours avant l'accident (Source : Google Earth, avec annotations du BST)



1.18.2.2 La prise de risques

1.18.2.2.1 La recherche de sensations

La recherche de sensations est la tendance à rechercher des sensations et des expériences nouvelles, variées, complexes et intenses. Le vol à basse altitude produit des sensations intenses chez les pilotes en exigeant des niveaux élevés de ressources cognitives et attentionnelles dans un environnement qui offre une marge de manœuvre restreinte. Les hommes et les personnes plus jeunes obtiennent généralement un score plus élevé sur les échelles de recherche de sensations que les femmes et les personnes plus âgées, avec des niveaux maximums à la fin de l'adolescence (c'est-à-dire entre 18 et 20 ans)[32].

Les pilotes de l'accident étaient âgés de 24 et 25 ans. L'enquête a été en mesure de déterminer que le copilote avait déjà exprimé sa satisfaction de voler à basse altitude mais rien n'indique qu'il en était de même pour le commandant de bord. Toutefois, l'analyse des données GPS a démontré que les pilotes avaient effectués 27 segments de vol à très basse altitude.

Après avoir quitté la zone de travail, les pilotes ont entrepris un vol à très basse altitude (variant entre 100 et 40 pieds AGL) pendant le trajet de retour qui a duré 18 minutes (de 17 h 38 jusqu'à l'impact à 17 h 56).

---

32 M. Zuckerman, *Behavioral Expressions and Biosocial Bases of Sensation Seeking* (Cambridge : University of Cambridge Press, 1994).

1.18.2.2.2 L'attention soutenue et la fatigue mentale

Contrairement à la fatigue liée au sommeil, la fatigue mentale (ou liée à la tâche) est un état psychologique qui résulte de la prolongation ou de la durée intense d'une tâche[33,34]. Bien que les personnes qui sont sujettes à la fatigue mentale puissent se sentir fatiguées, elles ne s'endorment pas nécessairement plus rapidement qu'une personne normalement reposée; c'est-à-dire que ces personnes ne sont pas nécessairement « endormies ». Se concentrer pendant de longues périodes peut entraîner une fatigue mentale et des troubles de la performance corollaire, notamment une diminution de la vigilance et de la conscience de la situation, une réduction des capacités d'attention et une tendance accrue à prendre des risques[35,36,37].

1.18.2.3 La perception du risque

Toute activité comporte un certain degré de risque associé. Il appartient à l'individu d'évaluer le niveau de risque associé à une activité lorsqu'il décide de s'y engager (ou non). Parce qu'il laisse peu de marge d'erreur en termes de manœuvres d'urgence et de navigation, le vol à basse altitude est considéré comme une activité dangereuse.

Les personnes qui effectuent à plusieurs reprises une activité dangereuse sans ou avec peu de répercussions négatives peuvent devenir désensibilisées ou habituées au niveau de risque élevé. Des problèmes peuvent survenir lorsque les risques perçus ne correspondent plus aux risques et dangers réels associés à une activité. Sans mesures d'atténuation en place pour ajuster la perception du risque, l'évaluation subjective du faible risque personnel peut entraîner une augmentation du nombre d'activités à risque élevé effectuées[38]. Le risque peut encore augmenter lorsque, à mesure que les valeurs du groupe changent, les décisions à risque plus élevé deviennent normales et acceptées dans un groupe donné.

---

33 T. J. Balkin, et N. J. Wesensten, « Differentiation of Sleepiness and Mental Fatigue Effects », dans : P. L. Ackerman (ed.), *Cognitive Fatigue: Multidisciplinary Perspectives on Current Research and Future Applications* (Washington, DC : American Psychological Association, 2011), p. 47-66.

34 J. Leonard, L. J. Trejo, R. Kochavi, K. Kubitz, L. D. Montgomery, R. Rosipal et B. Matthews, « Measures and Models for Estimating and Predicting Cognitive Fatigue », dans : *Proceedings of the 44th Annual Meeting of the Society for Psychophysiological Research* (Santa Fe, NM : 2004).

35 D. van der Linden, M. Frese et T. F. Meijman, « Mental fatigue and the control of cognitive processes: effects on perseveration and planning », dans : *Acta Psychologica*, volume 113, nº 1 (2003), p. 45-65.

36 D. M. Webster, L. Richter et A. W. Kruglanski, « On Leaping to Conclusions When Feeling Tired: Mental Fatigue Effects on Impressional Primacy » dans : *Journal of Experimental Social Psychology*, volume 32, nº 2 (1996), p. 181-195.

37 L. J. Trejo, K. Kubitz, R. Rosipal, R. L. Kochavi et L. D. Montgomery, « EEG-Based Estimation and Classification of Mental Fatigue » dans : *Psychology*, volume 6, nº 5 (2015), p. 572-589.

38 G. J. S. Wilde, « Homeostasis drives behavioural adaptation » dans : *Behavioural Adaptation and Road Safety: Theory, Evidence and Action* (2013), chapitre 5, p. 61-86.

1.18.3 Visibilité des câbles

Des câbles peuvent être difficiles à voir pendant un vol. Selon un article publié dans *Aviation Week*, [traduction] « Les câbles ne sont pas toujours visibles. Les changements dans l'éclairage solaire peuvent les occulter. [...] Un câble parfaitement visible dans un sens peut être complètement invisible dans l'autre[39] ».

En outre, plusieurs facteurs peuvent réduire la visibilité des câbles à basse altitude [traduction] :

> L'aptitude d'un pilote à voir des câbles et à éviter d'entrer en collision avec ces derniers est rendue plus ardue par l'afflux d'indices visuels perçus d'un point de vue différent lors de travaux à basse altitude; la végétation, les ombres et le relief qui cachent les câbles et leurs structures de soutien au pilote; l'ergonomie du poste de pilotage; et des facteurs en apparence mineurs, comme des empreintes de main ou des insectes qui tachent le pare-brise[40].

Une légère courbe à droite de la voie ferroviaire était présente immédiatement avant le point d'impact avec les câbles (3 secondes en temps de vol).

À l'endroit précis de l'impact avec les câbles, au moment de l'accident[41], l'azimut du soleil était de 261,41°V, et son altitude était de 24,41° au-dessus de l'horizon. Au moment de l'impact, l'aéronef suivait la voie ferroviaire sur un cap de 146°V[42]. Par conséquent, le soleil se trouvait à 115° à droite de la trajectoire, soit derrière et à la droite de l'aéronef.

Afin de déterminer s'il y avait de l'ombre dans la vallée, on a calculé que l'angle entre la voie ferroviaire et le sommet des collines à l'ouest (élévation 80 pieds, distance 587 pieds) était d'environ 8°. Avec un azimut de 24°, le soleil se trouvait à environ 16° au-dessus des collines.

Des câbles peuvent être extrêmement difficiles à voir, notamment à travers des vallées et dans des conditions lumineuses variables. Pour cette raison, TC conseille aux pilotes de toujours passer les lignes de transport d'électricité à proximité des pylônes, de suivre les lignes de crête et d'éviter de voler au centre des vallées[43].

Les mines exploitées dans le secteur où l'accident s'est produit étaient des mines de fer et les dépôts de résidus miniers qui étaient présents donnaient au relief une teinte rougeâtre typique de l'oxyde de fer. De plus, un dépôt poussiéreux de la même couleur couvrait les

---

39 P. Veillette, « How to Avoid Helicopter Wire Strikes », Aviation Week Network (7 octobre 2015), à l'adresse http://aviationweek.com/business-aviation/how-avoid-helicopter-wire-strikes (dernière consultation le 18 juin 2018).

40 R. L. Cassidy, « One Strike and You're Out », dans : *Flight Safety Australia*, novembre-décembre 2005.

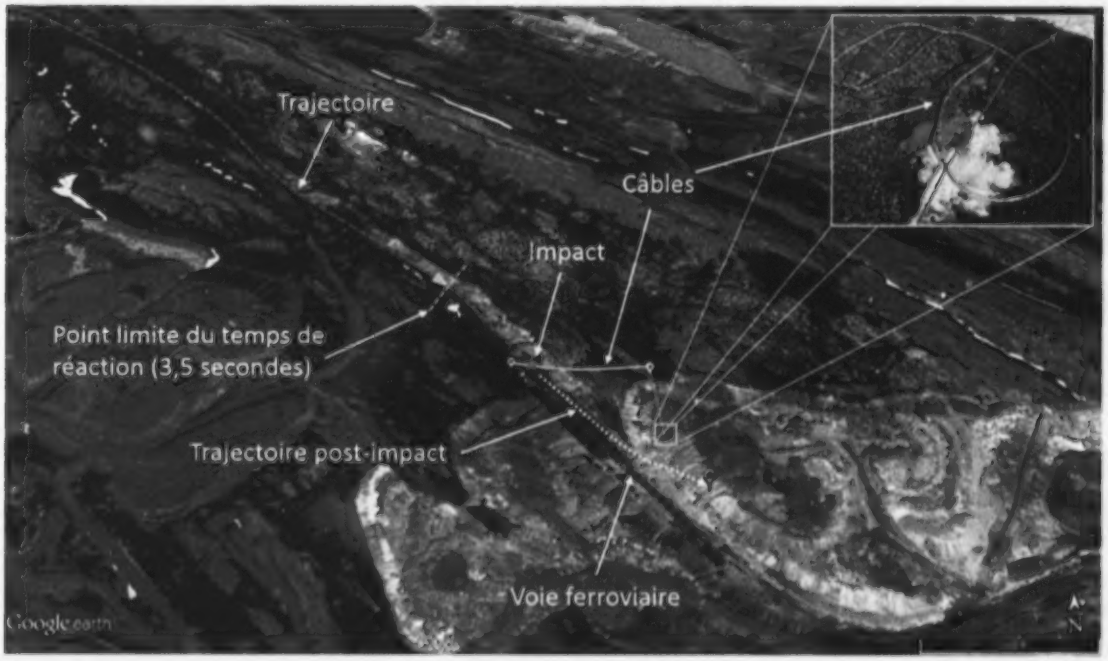
41 Coordonnées 54°49'12.309" N, 066°54'28.297" W; le 30 avril 2017, à 17 h 54.

42 La déclinaison magnétique à CYKL est de 22° W.

43 Transports Canada, TP 9982F, *Manuel de pilotage des hélicoptères* (juin 2006), p. 67, 91 et 92.

câbles conducteurs ce qui diminuait leur contraste avec le relief environnant (figure 7). Il y avait également très peu de contraste entre les pylônes de bois et le relief. Au moment et à l'endroit de l'événement, il y avait une couverture partielle de neige sur les dépôts de résidus miniers d'environ 75 % sur leur sommet, mais les flancs exposés au soleil et à l'eau de ruissellement étaient libres de neige.

Figure 7. Trajectoire de l'aéronef en cause juste avant l'impact (Source : Google Earth, avec annotations du BST)



1.18.3.1 Temps de réaction pour éviter les câbles

Dans le contexte d'une collision entre 2 avions en vol, le temps requis pour déceler le danger de collision, décider et effectuer une manœuvre d'évasion est en moyenne de 12,5 secondes[44]. Toutefois, dans le contexte d'un pilote qui prend la décision de voler à très basse altitude (moins de 100 pieds AGL), la conscience de la situation permet de retirer certains éléments de ce temps de réaction. Dans ce contexte en particulier, il n'est pas nécessaire d'inclure le temps pour devenir conscient de la trajectoire (5 secondes) et le temps pour décider de dévier vers la gauche ou la droite (4 secondes) alors que le pilote est très près du sol.

Ainsi, lorsque le pilote, déjà à très basse altitude, voit et reconnaît des câbles, le temps de réaction de 12,5 secondes nécessaire pour éviter une collision entre 2 avions, peut être réduit de 9 secondes. Par conséquent, lors du vol en question à très basse altitude, on a estimé que le temps de réaction pour éviter les câbles était de 3,5 secondes (figure 7).

---

44 Federal Aviation Administration des États-Unis, Advisory Circular No. AC90-48D, *Pilots' Role in Collision Avoidance*, Change 1, 28 juin 2016.

1.18.3.2 Balisage des obstacles à la navigation aérienne

Aucun balisage n'était présent sur les conducteurs et aucun n'était requis par la règlementation.

L'article 601.23 du RAC indique que :

> constitue un obstacle à la navigation aérienne le bâtiment, l'ouvrage ou l'objet, y compris tout accessoire de ceux-ci : [...] dans le cas de fils caténaires[45] qui passent au-dessus d'une rivière ou d'un fleuve, qui comporte des fils ou des structures portantes qui excèdent en hauteur 90 m [environ 300 pieds] AGL[46].

De plus, le paragraphe 601.25(1) du RAC stipule que :

> S'il conclut qu'un bâtiment, un ouvrage ou un objet, autre que l'un de ceux visés à l'article 601.23, constitue, du fait de sa hauteur et de son emplacement, un danger pour la navigation aérienne, le ministre enjoint à la personne qui en a la responsabilité ou la garde de le baliser et de l'éclairer en conformité avec les exigences de la norme 621[47,48].

D'après l'AIM de TC :

> En raison de la nature de l'obstacle, il n'est pas toujours possible de prévoir toutes les situations qui peuvent se présenter. Ainsi, dans certains cas, une évaluation aéronautique devra être effectuée par Transports Canada afin de déterminer si un obstacle présente un danger pour la sécurité aérienne ou de préciser des méthodes de rechange dans le but d'assurer la conformité aux normes de balisage et d'éclairage des obstacles, tout en veillant à respecter les exigences relatives à la visibilité[49].

Les lignes de transport d'électricité sont très nombreuses au Canada, et TC a déterminé qu'il ne serait pas raisonnable d'exiger leur éclairage ou balisage de façon générale.

---

45 La norme 621 du *Règlement de l'aviation canadien* définit une caténaire comme « tout fil courbe suspendu librement entre deux ou plusieurs structures portantes, normalement sur des distances exceptionnellement longues et élevées au-dessus de canyons, de rivières et de vallées profondes ».

46 Transports Canada, DORS/96-433, *Règlement de l'aviation canadien*, paragraphe 601.23(1).

47 Ibid., paragraphe 601.25(1).

48 TC a indiqué que dans certains cas, on peut désigner des objets d'une hauteur inférieure à celle stipulée à l'article 601.23 du RAC comme étant des obstacles qui exigent de l'éclairage ou du balisage. On le fait en tenant compte de facteurs de sécurité comme l'exposition à une route connue de circulation aérienne ou des activités aéronautiques.

49 Transports Canada, TP 14371 F (2016-1, 31 mars 2016), *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada*, AGA – Aérodromes, article 6.3, p. 61. Remarque : il s'agit de la version du document qui était en vigueur au moment de l'événement à l'étude.

1.18.3.3 Repérage de lignes de transport d'électricité

Avant d'amorcer un vol à basse altitude, un pilote devrait consulter une VNC afin de déterminer l'emplacement des obstacles qui se trouvent le long de la route prévue.

Si des opérations doivent être conduites à proximité d'obstacles comme des lignes de transport d'électricité, un vol de reconnaissance à haute altitude est la première mesure à prendre pour déterminer avec certitude leur emplacement[50].

1.18.4 La surveillance des vols

Bien que la direction d'Exact Air Inc. utilise un système de suivi des vols qui consigne la position des aéronefs aux 2 minutes, ce système ne permettait pas la surveillance des vols en temps réel et il n'existait pas de processus visant à évaluer la façon dont un vol s'était déroulé. La réglementation actuelle n'exige pas un tel niveau de surveillance des vols. Toutefois, le manuel d'exploitation de la compagnie (MEC) rappelle aux pilotes que l'exécution des vols est sous leur entière responsabilité et qu'ils doivent s'assurer que le déroulement du vol est conforme à la réglementation en vigueur et aux procédures prescrites par le manuel.

Le BST a constaté à plusieurs reprises, dans ses enquêtes sur des accidents mettant en cause divers organismes, que la direction ne savait pas qu'un employé ou un instructeur contrevenait à la réglementation en vigueur ou aux politiques de l'organisme. À titre d'exemple :

- Le rapport d'enquête aéronautique A09Q0065 du BST a révélé qu'à l'insu de la direction, l'instructeur volait beaucoup plus bas que ne l'autorisait la politique de l'entreprise.
- Le rapport d'enquête aéronautique A12W0031 du BST a révélé que le pilote volait à proximité du relief abrupt accidenté. L'entreprise n'était pas au courant que le pilote avait effectué un changement de trajectoire lors des vols d'excursions.
- Le rapport d'enquête aéronautique A15Q0120 du BST a révélé que la direction ne savait pas que le pilote avait l'habitude d'effectuer des virages serrés à basse altitude lors de vols touristiques.

Compte tenu des statistiques combinées sur les accidents mettant en cause des opérations régies par les sous-parties 702, 703 et 704 du RAC, il existe des arguments convaincants pour que l'industrie et l'organisme de réglementation déterminent les dangers et gèrent de façon proactive les risques inhérents à ces opérations. Afin d'assurer une gestion efficace du risque, il faut savoir pourquoi des incidents se produisent et quelles pourraient être les lacunes de sécurité qui y ont contribué.

---

50 Transports Canada, TP 9982F, *Manuel de pilotage des hélicoptères*, 2e édition (juin 2006), p. 103.

En outre, une surveillance régulière des activités normales de vol peut aider les exploitants à améliorer leur efficacité opérationnelle et à déceler les lacunes de sécurité avant qu'elles ne causent un accident.

1.18.4.1 Systèmes d'enregistrement des données de vol légers et suivi des données de vol

La mise au point de systèmes d'enregistrement des données de vol légers offre la possibilité d'étendre la surveillance des vols aux plus petits exploitants. Grâce à cette technologie et au suivi des données de vol (SDV), ces exploitants sont notamment en mesure de surveiller la conformité aux procédures d'utilisation normalisées, la prise de décisions des pilotes et le respect des limites opérationnelles. Le SDV permet également aux exploitants de déceler les problèmes opérationnels et de prendre des mesures correctives avant qu'un accident se produise. A l'heure actuelle, aucune disposition du RAC n'exige l'installation d'un système d'enregistrement des données de vol léger dans les aéronefs.

Si un accident venait à se produire, les enregistrements de systèmes d'enregistrement des données de vol légers fourniraient des renseignements utiles pour permettre de mieux déceler les lacunes de sécurité dans le cadre de l'enquête.

Le Bureau reconnaît qu'il faudra régler certains enjeux pour faciliter l'utilisation efficace des enregistrements provenant des systèmes d'enregistrement des données de vol légers, notamment des questions relatives à l'intégration de ce matériel dans un aéronef, à la gestion des ressources humaines et à des enjeux d'ordre juridique, comme la restriction concernant l'utilisation d'enregistrements des conversations et d'enregistrements vidéo dans le poste de pilotage. Néanmoins, compte tenu des possibilités qu'offre cette technologie combinée au SDV pour améliorer considérablement la sécurité, le Bureau croit qu'aucun effort ne doit être épargné pour surmonter ces obstacles.

Lors de son enquête concernant la perte de maîtrise et désintégration en vol d'un avion à proximité de Mayo (Yukon)[51], survenue en mars 2011, le Bureau a recommandé que :

> le ministère des Transports, en collaboration avec l'industrie, élimine les obstacles et élabore des pratiques recommandées en ce qui a trait à la mise en œuvre du suivi des données de vol et à l'installation de systèmes d'enregistrement des données de vol légers par les exploitants commerciaux qui ne sont pas actuellement tenus de munir leurs aéronefs de ces systèmes.
>
> **Recommandation A13-01 du BST**

TC a déclaré ses intentions d'agir par rapport à la lacune de sécurité décrite dans la recommandation A13-01 concernant l'installation de systèmes d'enregistrement des données de vol légers dont les exploitants commerciaux sont toujours exemptés :

- En 2013, après avoir réalisé une évaluation des risques visant à étudier d'autres méthodes de SDV, TC a fait savoir au BST qu'il appuyait la recommandation A13-01. En 2015, TC a avisé le BST de son intention de revoir cette évaluation des risques.

---

51 Rapport d'enquête aéronautique A11W0148 du BST.

- En 2013, TC a fait savoir au BST qu'il allait rédiger une circulaire d'information pour décrire les pratiques recommandées concernant les programmes de suivi des données de vol.
- En 2013, TC a fait savoir au BST qu'il allait incorporer son analyse et son étude de la recommandation A13-01 à son évaluation des enregistreurs de conversations de poste de pilotage et des enregistreurs de données de vol, qui devait débuter au cours de l'année 2014-2015.
- En 2014, TC a fait savoir au BST qu'il allait étudier la possibilité d'ajouter les principes du SDV à ses initiatives ou modifications réglementaires à venir.
- En 2015, TC a fait savoir au BST qu'il allait rédiger un document de travail comprenant des renseignements factuels sur le SDV, ainsi que les avantages, les coûts et les défis liés à son utilisation.

Cependant, en raison d'autres engagements, TC n'a entrepris aucune mesure pour concrétiser ses intentions.

En février 2018, TC a organisé un groupe de discussion composé d'intervenants du secteur afin d'évaluer les défis et les avantages de l'installation d'enregistreurs de données de vol légers par les exploitants qui ne sont pas actuellement tenus de munir leurs aéronefs de ces systèmes.

Cependant, d'ici à ce que ce groupe de discussion formule des conclusions quant aux défis et aux avantages de l'installation d'enregistreurs de données de vol légers dans les aéronefs qui ne sont pas tenus d'en avoir à l'heure actuelle et que TC indique au BST le plan d'action découlant de ces conclusions, on ignore quand et comment la lacune de sécurité soulevée par la recommandation A13-01 sera corrigée. Le Bureau juge préoccupant que très peu de mesures concrètes aient été prises pour mettre la recommandation A13-01 en pratique. Le Bureau estime que cela causera d'importants retards, comme dans le cas de nombreuses autres recommandations.

Par conséquent, à l'égard de la réponse à la recommandation A13-01, le Bureau estime que son **évaluation est impossible.**

Le BST a enquêté sur un événement récent[52] au cours duquel un Mitsubishi MU-2B-60 a percuté le relief durant le segment d'approche finale à l'aéroport des Îles-de-la-Madeleine (Québec). Les 7 occupants ont été mortellement blessés. Quoique la réglementation ne l'exigeait pas, cet aéronef avait à son bord un enregistreur de données de vol léger. Les enquêteurs ont récupéré l'enregistreur et en ont extrait les données pour les analyser. Ils ont ainsi pu mieux comprendre la chronologie des faits qui a mené à la perte de maîtrise de l'aéronef. Sans système d'enregistrement à bord, les enquêteurs n'auraient pas obtenu ces renseignements cruciaux à la compréhension des circonstances et faits qui ont mené à cet événement.

---

52 Rapport d'enquête aéronautique A16A0032 du BST.

Dans le cas d'un autre événement récent[53] enquêté par le BST, les enquêteurs n'avaient aucun des renseignements que contiennent normalement les systèmes d'enregistrement de données de vol. Par conséquent, il n'a pas été possible de déterminer les raisons de la perte de maîtrise de l'aéronef qui a mené à la collision avec le sol, causant la mort des 4 occupants.

Quoique la recommandation A13-01 ait ciblé les exploitants commerciaux, ces 2 événements récents font ressortir la valeur d'un système d'enregistrement des données de vol léger à bord d'aéronefs en démontrant l'importance de la disponibilité des données. Il est également important de noter qu'un tel système permet une surveillance régulière des activités normales de vol pouvant aider les exploitants à améliorer leur efficacité opérationnelle et à déceler les lacunes de sécurité avant qu'elles ne causent un accident. Dans l'événement à l'étude, les enquêteurs ont pu obtenir des données de vol du GPS spécialisé utilisé dans le cadre du travail de relevés magnétométriques. Toutefois, ces données n'étaient pas accessibles pour Exact Air aux fins de suivi des vols.

Le 26 avril 2018, le Bureau a émis la recommandation A18-01 selon laquelle il demande à TC d'obliger l'installation de systèmes d'enregistrement des données de vol légers chez les exploitants commerciaux et privés qui n'y sont pas actuellement tenus. Cette nouvelle recommandation remplace la recommandation A13-01. Le Bureau appelle TC à se servir du travail effectué dans le cadre de la recommandation A13-01 pour accélérer l'adoption de mesures de sécurité en réponse à la recommandation A18-01.

---

53 Rapport d'enquête aéronautique A16P0186 du BST.

1.18.4.2 Liste de surveillance du BST

La Liste de surveillance du BST énumère les principaux enjeux de sécurité qu'il faut s'employer à régler pour rendre le système de transport canadien encore plus sûr.

La gestion de la sécurité et la surveillance figurent sur la Liste de surveillance 2016.

Cet enjeu de la Liste de surveillance a été abordé dans le rapport d'enquête du BST sur l'accident survenu en mai 2013[54]. Bien que 95 % des utilisateurs du transport aérien volent avec des opérateurs ayant mis en place un SGS, le rapport souligne entre autres qu'environ 90 % de tous les titulaires de certificat d'aviation canadien ne sont toujours pas tenus d'avoir de SGS, selon la réglementation en vigueur, et que TC n'a aucune assurance quant à la capacité de ces exploitants de gérer efficacement la sécurité.

La gestion de la sécurité et la surveillance resteront sur la Liste de surveillance du BST jusqu'à ce que :

- Transports Canada mette en œuvre des règlements obligeant tous les exploitants des secteurs du transport commercial aérien et maritime à adopter des processus de gestion de la sécurité officiels et supervise efficacement ces processus;
- les entreprises de transport qui possèdent un système de gestion de la sécurité démontrent qu'il fonctionne bien, c'est-à-dire qu'il permet de déceler les risques et que des mesures de réduction des risques efficaces sont mises en œuvre;
- Transports Canada intervienne lorsque des entreprises de transport ne peuvent assurer efficacement la gestion de la sécurité et le fasse de façon à corriger les pratiques d'exploitation jugées non sécuritaires.

TC a publié en 2016 un guide sur le développement des systèmes de gestion de la sécurité à l'intention des plus petits organismes de l'aviation[55] mais à ce jour, les exploitants des sous-parties 406, 702, 703 et 704 ne sont pas tenus de mettre en place un SGS.

Dans le cas à l'étude, Exact Air Inc. avait mis en place un SGS de façon volontaire. Toutefois, TC ne pouvait avoir l'assurance quant à la capacité de l'entreprise de gérer efficacement la sécurité, puisqu'il n'effectue pas d'évaluations des SGS volontaires.

Le rapport d'enquête aéronautique A13H0001 du BST a fait ressortir la nécessité pour TC d'adapter son approche de la surveillance réglementaire en fonction de la compétence de l'exploitant.

---

54 Rapport d'enquête aéronautique A13H0001 du BST.

55 Transports Canada, Circulaire d'information n° 107-002, Guide sur le développement des systèmes de gestion de la sécurité à l'intention des plus petits organismes de l'aviation, Édition n° 2 (2 septembre 2016), à l'adresse https://www.tc.gc.ca/media/documents/ac-opssvs/CI_107-002_ISSUE_2.pdf (dernière consultation le 23 mai 2018).

Par conséquent, à la conclusion du rapport d'enquête aéronautique A13H0001, cet enjeu de la Liste de surveillance a été formalisé sous forme de recommandations au ministère des Transports comme suit :

> le ministère des Transports exige que tous les exploitants d'aviation commerciale au Canada mettent en œuvre un système de gestion de la sécurité en bonne et due forme.
>
> **Recommandation A16-12 du BST**

> le ministère des Transports effectue des évaluations régulières des SGS pour déterminer la capacité des exploitants de gérer efficacement la sécurité.
>
> **Recommandation A16-13 du BST**

> le ministère des Transports renforce ses politiques, ses procédures et sa formation en matière de surveillance, afin que la fréquence et l'objet de la surveillance et des activités de contrôle après surveillance, y compris les mesures d'application, correspondent à la capacité de l'exploitant de gérer efficacement le risque.
>
> **Recommandation A16-14 du BST**

1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

Sans objet.

2.0 Analyse

Lors du retour de la zone de travail de relevés magnétométriques, l'aéronef est descendu, et a maintenu une altitude de moins de 100 pieds au-dessus du sol (AGL) jusqu'au moment de la collision avec les câbles.

Rien n'indique qu'il y ait eu une défaillance de la cellule, des moteurs ou d'un système pendant le vol en cause, et la performance de l'aéronef n'a pas été un facteur dans l'événement. Les pilotes étaient qualifiés conformément à la réglementation en vigueur pour effectuer le vol et ils avaient reçu la formation exigée par Transports Canada (TC). L'examen des dossiers médicaux et l'autopsie des pilotes n'ont révélé aucun facteur médical qui aurait pu avoir une incidence sur leur rendement. Les conditions météorologiques étaient favorables au vol à vue.

Par conséquent, l'analyse portera sur les actions de l'équipage lors du retour après le travail de relevés magnétométriques, les risques associés aux vols à très basse altitude, la collision avec les câbles, la surveillance et le suivi des vols, ainsi que la survie des occupants à la suite de l'impact.

2.1 Retour depuis la zone de travail

2.1.1 Le vol à très basse altitude

Dans l'événement à l'étude, les vols aller-retour entre l'aéroport et la zone de travail à très basse altitude (moins de 100 pieds AGL) se distinguent des vols de relevés magnétométriques à basse altitude (300 pieds AGL) du fait qu'ils ne sont pas encadrés.

2.1.1.1 La prise de risques

2.1.1.1.1 La recherche de sensations

L'équipage venait tout juste de compléter un 2e vol de relevés magnétométriques d'environ 5 heures à une altitude de 300 pieds AGL. Selon Zuckerman (voir la section 1.18.2.2 du présent rapport), la recherche de sensations est la tendance à rechercher des sensations et des expériences nouvelles, variées, complexes et intenses et elle est plus prédominante chez les jeunes hommes. Considérant l'âge et le sexe des pilotes, on peut concevoir que dans un but de recherche de sensations, ils aient voulu descendre encore plus bas.

2.1.1.1.2 L'attention soutenue et la fatigue mentale

La fatigue mentale est un état psychologique qui résulte d'une période de temps prolongée ou intense consacrée à une tâche. La fatigue mentale peut causer une diminution de la vigilance et de la conscience de la situation, une réduction des capacités d'attention et une tendance accrue à prendre des risques.

Dans l'accident à l'étude, la tâche de maintenir une altitude précise de 300 pieds AGL nécessitait un degré significatif d'attention soutenue. Bien que les pilotes alternaient régulièrement cette tâche, le pilote qui n'était pas aux commandes devait tout de même exercer une surveillance. Le jour de l'accident, l'équipage en était à son 2e vol de relevés magnétométriques de près de 5 heures. Ainsi, au moment de l'accident, les membres de l'équipage subissaient probablement les effets de la fatigue mentale, ce qui peut avoir accru leur tendance à prendre des risques et par conséquent les avoir incités à prendre la décision de descendre à très basse altitude.

2.1.1.2 *La perception du risque*

Les personnes qui effectuent à plusieurs reprises une activité dangereuse comportant peu ou pas de répercussions négatives, peuvent devenir désensibilisées ou habituées au niveau de risque élevé. Lorsque les risques perçus ne correspondent plus aux risques et dangers réels associés à une activité, il peut y avoir une augmentation du nombre d'activités à risque élevé qui sont entreprises.

Depuis le début du contrat, l'équipage avait effectué 21 vols de relevés magnétométriques en 12 jours, sur une période de 19 jours précédant l'accident. En moyenne, lors de ces 12 jours de relevés, l'équipage effectuait 7,8 heures de vol. La grande majorité de ces heures étaient effectuées à basse altitude (300 pieds AGL); toutefois, cette activité était encadrée par des mesures de contrôle afin de réduire les risques. Ce nombre d'heures de vol sans incident a probablement créé une accoutumance et a désensibilisé l'équipage aux risques liés au vol à basse altitude.

Pendant cette période, l'équipage avait également effectué 27 segments de vols comprenant des sections à très basse altitude (moins de 100 pieds AGL), aussi sans incident. Il est donc possible de croire que l'équipage de conduite s'était accoutumé et désensibilisé aux vols à très basse altitude.

Puisque le risque peut augmenter en fonction des valeurs d'un groupe et que les pilotes travaillaient ensemble depuis le début du contrat, il est possible que le vol à très basse altitude en cause, donc à risque plus élevé, soit devenu normal et accepté. Par conséquent, il est probable que les risques perçus par les pilotes ne correspondaient pas aux risques et aux dangers réels associés au vol à très basse altitude.

Il est donc raisonnable de conclure que la recherche de sensations, la fatigue mentale et une perception du risque altérée ont fort probablement contribué au fait qu'immédiatement après avoir terminé le travail de relevés magnétométriques, le pilote aux commandes est descendu à une altitude variant entre 100 et 40 pieds AGL et a maintenu cette altitude jusqu'au moment de la collision avec les câbles.

2.1.2 *Les câbles de lignes de transport d'électricité*

Il est reconnu que les câbles des lignes de transport d'électricité peuvent être extrêmement difficiles à voir en vol. Bien qu'il existe des solutions pour prévenir que des aéronefs entrent

en collision avec celles-ci, telle que leur représentation sur les cartes aéronautiques de navigation pour le vol selon les règles de vol à vue (VNC), leur balisage et les vols de repérage, ces solutions ne sont pas infaillibles. Par conséquent, si les pilotes volent à basse altitude, ils courent des risques de collision avec des câbles, car ces derniers peuvent être extrêmement difficiles à voir en vol.

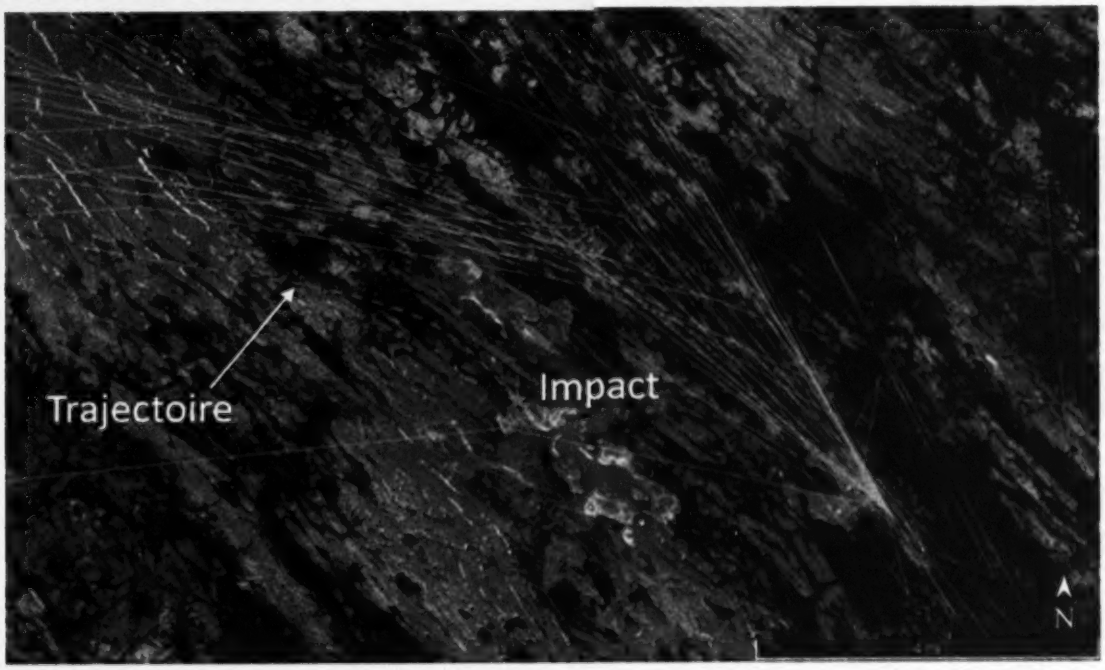
2.1.2.1 *Cartes aéronautiques de navigation selon les règles de vol à vue, balisage et repérage de la ligne de transport d'électricité*

Les lignes de transport d'électricité figurent sur les VNC parce qu'elles constituent des repères culturels utiles à la navigation; toutefois, elles sont représentées selon la disponibilité des données. De plus, des tronçons peuvent être supprimés ou masqués pour assurer la lisibilité de la carte. La ligne de transport d'électricité en cause lors de l'événement n'apparaissait pas sur la carte VNC et aucune exigence réglementaire n'imposait qu'elle y apparaisse.

En raison du nombre de lignes de transports d'électricité présentes au Canada, TC a déterminé qu'il n'était pas raisonnable d'exiger un balisage de façon générale. Sur les lieux de l'accident, aucun balisage n'était présent sur les câbles et aucun n'était requis par la réglementation.

Comme les vols de relevés magnétométriques sont effectués à basse altitude, l'équipage avait effectué un survol de repérage de la zone de travail afin d'identifier les dangers potentiels; toutefois, les segments d'aller et de retour n'avaient pas à faire l'objet d'un tel survol et l'enquête a démontré que le site de l'accident n'avait pas été survolé (figure 8).

Figure 8. Région du dernier vol à très basse altitude de l'aéronef en cause (Source : Google Earth, avec annotations du BST)



La ligne de transport d'électricité n'apparaissait pas sur la carte, les câbles n'étaient pas balisés et il n'y a pas eu de survol de repérage. Par conséquent, il est fort probable que les pilotes ignoraient qu'une ligne de transport d'électricité se trouvait sur leur trajectoire.

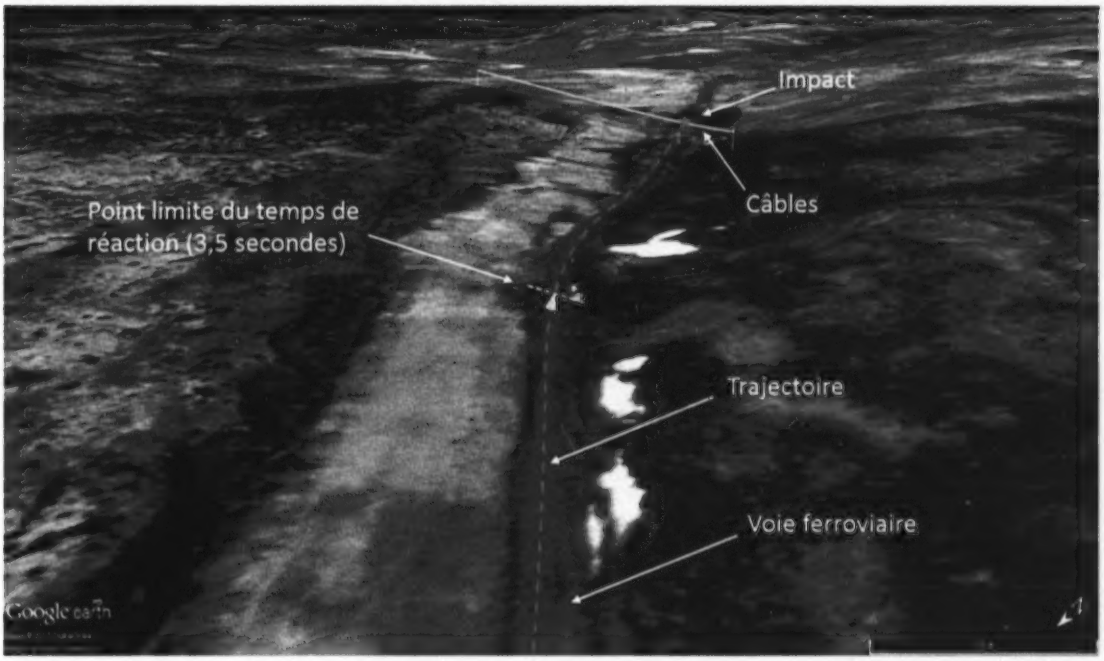
2.1.2.2 *Collision avec les câbles*

En fonction de la position du soleil, le pilote n'était pas ébloui par le soleil, et il n'y avait aucun ombrage dans la vallée qui aurait pu nuire au repérage des câbles. Toutefois, en raison de leurs couleurs similaires, il n'y avait pas de contraste entre les câbles, les pylônes et le relief.

Selon les données du système mondial de localisation (GPS), l'aéronef survolait la voie ferroviaire à une vitesse sol de 169 nœuds, soit 286 pieds par seconde. Cette vitesse multipliée par le temps de réaction estimé pour éviter les câbles à 3,5 secondes donne un produit d'environ 1000 pieds. Donc, le pilote devrait être en position de voir les câbles 1000 pieds avant ces derniers, sinon il ne serait plus possible de les éviter.

Au moment où l'aéronef approchait de cette limite, le pilote devait effectuer un virage à droite afin de demeurer au-dessus de la voie ferroviaire, ce qui n'était pas propice à un balayage visuel à une plus grande distance pour déceler des câbles. Pendant ce virage, l'aéronef a franchi le point limite (figure 9) à partir duquel il ne restait plus suffisamment de temps de réaction pour éviter les câbles.

Figure 9. Trajectoire avant l'impact (Source: Google Earth, avec annotation du BST)



En conséquence, alors que l'aéronef se déplaçait à très basse altitude au-dessus de la voie ferroviaire, le pilote aux commandes n'a pas discerné la ligne de transport d'électricité à temps pour l'éviter et l'aéronef a percuté les câbles, qui se trouvaient à 70 pieds au-dessus du sol.

2.2 *La surveillance des vols et le suivi des vols*

En principe, le gestionnaire des opérations doit veiller à la sécurité des opérations. Dans la pratique, il ne dispose pas nécessairement de tous les outils nécessaires pour s'acquitter entièrement de cette tâche. C'est pourquoi le manuel d'exploitation de la compagnie (MEC) rappelle aux pilotes que l'exécution des vols est sous leur entière responsabilité et qu'ils doivent s'assurer que le déroulement du vol est conforme à la réglementation en vigueur et aux procédures prescrites par le manuel.

2.2.1 *Suivi du temps de vol, du temps de service de vol et des périodes de repos*

Selon le MEC, il incombe au pilote affecté à un contrat de consigner ses heures de vol dans sa propre version de l'application de suivi des temps, afin d'éviter toute dérogation au *Règlement de l'aviation canadien* (RAC). Ce fichier est par la suite envoyé à la compagnie le premier du mois suivant les vols pour être vérifié.

Puisque le directeur des opérations était conscient que les pilotes à CYKL effectuaient beaucoup de vols dans la semaine du 12 avril, il est intervenu pour vérifier et limiter les vols du 18 avril afin de respecter la limite réglementaire de 60 heures en 7 jours consécutifs.

Bien que la direction de la compagnie ait géré efficacement les temps de vol des pilotes affectés à ce contrat, la compagnie se fie principalement au pilote pour effectuer le suivi des temps de vol. La conscience de la situation du directeur des opérations procure une défense supplémentaire, qui permet de prévenir le dépassement des heures de vol réglementaires.

2.2.2 *Suivi des données de vol et systèmes d'enregistrement des données de vol légers*

Malgré l'avertissement concernant le vol à basse altitude dans le *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada*, et en l'absence de limites sur l'altitude minimale imposées par l'entreprise, le pilote a choisi de descendre à très basse altitude lors du segment de vol de retour; par conséquent, ce segment de vol comportait un niveau de risque inacceptable.

Exact Air Inc., comme la plupart des entreprises d'envergure similaires, ne dispose d'aucune méthode de surveillance précise de l'exécution des vols. Dans le cas à l'étude, quoique le client mettait à la disposition de l'entreprise un système de suivi des vols en ligne, ce dernier n'était pas utilisé pour le suivi des vols et rien n'exigeait son utilisation. Par conséquent, l'entreprise ignorait que les pilotes en cause volaient à très basse altitude lors des transits entre les zones de travail et l'aéroport. De plus, personne au sein de l'entreprise n'était conscient que les habitudes de vol des pilotes présentaient un niveau de risque qui n'était pas nécessaire pour ces retours à l'aéroport.

Étant donné que l'aéronef en cause n'était muni d'aucun enregistreur de données de vol léger[56], la direction de l'entreprise n'avait pas accès à des données de vol permettant de veiller au respect des limites opérationnelles ou de déceler les manœuvres à risque.

Depuis des décennies, les exploitants d'avions de passagers lourds doivent avoir des enregistreurs de données de vol (FDR). Ces exploitants peuvent se servir des renseignements des FDR dans le cadre de programmes internes de suivi des données de vols (SDV) et d'assurance de la qualité des opérations aériennes. Ces programmes aident les exploitants aériens à gérer la sécurité de façon préventive.

La mise au point de systèmes d'enregistrement des données de vol légers offre la possibilité d'élargir le niveau de surveillance par le SDV, notamment pour vérifier la conformité aux procédures de l'entreprise, le respect des limites opérationnelles ainsi que de surveiller les manœuvres à risques.

De plus, la présence à bord d'un système d'enregistrement des données de vol léger peut avoir une influence positive sur le comportement des pilotes. Le suivi de ces données permet aux exploitants de déceler les écarts d'opérations et de prendre des mesures correctives avant qu'un accident ne se produise. Si des systèmes d'enregistrement des données de vol légers ne sont pas utilisés pour faire un suivi précis des opérations de vol, il existe un risque que les pilotes dérogent aux procédures et aux limites établies, réduisant ainsi les marges de sécurité.

---

56 La réglementation n'exigeait pas la présence de tels enregistreurs.

Le BST a déjà reconnu le potentiel des systèmes de surveillance et du SDV pour aider les exploitants à repérer de manière proactive les lacunes de sécurité avant qu'elles ne provoquent un accident. Toutefois, bien que des dispositifs abordables soient disponibles, l'installation de ceux-ci dans un aéronef requiert une certification particulière qui, elle, peut rendre l'implantation de ces dispositifs plus complexe et coûteuse. Pour cette raison, le Bureau a formulé la recommandation A13-01 ayant pour objet d'éliminer les obstacles à la mise en œuvre du SDV et à l'installation de systèmes d'enregistrement des données de vol légers par les exploitants commerciaux qui ne sont toujours pas tenus de munir leurs aéronefs de tels systèmes.

TC a appuyé cette recommandation et a tenu une rencontre en février 2018 dans le but d'examiner les questions en matière de politique, les défis et les avantages associés à l'élargissement éventuelle des exigences en matière de FDR pour les petits aéronefs canadiens qui n'ont pas actuellement à être équipés d'un FDR en vertu du RAC. Bien que cette rencontre soit un pas dans la bonne direction, il demeure que pour l'instant aucune mesure concrète n'est en place pour mettre la recommandation du BST en pratique. Par conséquent, on ignore quand et comment la lacune de sécurité soulevée par la recommandation A13-01 sera corrigée. Si TC ne prend pas de mesures concrètes pour faciliter l'utilisation de systèmes d'enregistrement de donnés de vol légers et le SDV, les exploitants risquent de ne pas pouvoir repérer de manière proactive les lacunes de sécurité avant qu'elles ne provoquent un accident.

La recommandation A13-01 a été remplacé par la recommandation A18-01, selon laquelle le BST demande à TC d'obliger l'installation de systèmes d'enregistrement des données de vol légers chez les exploitants commerciaux et privés qui n'y sont pas actuellement tenus. Le Bureau appelle TC à se servir du travail effectué dans le cadre de la recommandation A13-01 pour accélérer l'adoption de mesures de sécurité en réponse à la recommandation A18-01.

2.2.3 Systèmes de gestion de la sécurité

Exact Air Inc. a mis en œuvre un système de gestion de la sécurité (SGS), même si un SGS n'est pas exigé par la réglementation pour les exploitants assujettis aux sous-parties 406, 702 et 703 du RAC. Cependant, l'implantation d'un SGS est un processus ardu, exigeant que l'entreprise passe d'une culture de la conformité à une culture de la gestion des risques en matière de sécurité. Ce passage est d'autant plus difficile pour toute entreprise qui ne possède ni le personnel ni la structure organisationnelle comparable à celle des gros transporteurs aériens.

TC n'évalue ni ne vérifie les SGS mis en place sur une base volontaire. En conséquence, le SGS d'Exact Air Inc. n'a pas été évalué ou assujetti à une activité de surveillance de la part de TC lors de la dernière inspection de validation de programme (IVP) en 2016.

Les enquêtes sur l'événement à l'étude et sur d'autres événements récents soulignent la nécessité pour les exploitants de gérer efficacement les risques à la sécurité. Quoique beaucoup d'entreprises, dont Exact Air Inc., aient reconnu les avantages d'un SGS et volontairement amorcé la mise en œuvre d'un tel système au sein de leur organisme, et que

95 % des utilisateurs du transport aérien volent avec des opérateurs ayant mis en place un SGS, environ 90 % de tous les titulaires de certificat d'aviation canadien ne sont toujours pas tenus d'avoir de SGS[57] selon la réglementation en vigueur. Plus de 10 ans après la mise en place de la première réglementation sur les SGS des exploitants aériens opérant selon la sous-partie 705 du RAC et des entreprises qui font la maintenance d'aéronefs sur ces mêmes exploitants, il appert que la mise en œuvre des SGS pour les exploitants des sous-parties 406, 702, 703 et 704 stagne, et ce, bien que TC ait publié en 2016 un guide sur le développement des systèmes de gestion de la sécurité à l'intention des plus petits organismes de l'aviation.

Par conséquent, TC n'a aucune assurance quant à la capacité de ces exploitants de cerner et d'atténuer les risques. À cet égard, par sa Liste de surveillance et ses recommandations[58], le Bureau a souligné le fait que si les SGS ne sont pas exigés, évalués et surveillés par TC afin d'assurer une amélioration continue, il y a un risque accru que les entreprises n'arrivent pas à repérer et atténuer efficacement les risques liés à leurs opérations.

2.3 *Survie des occupants à la suite de l'impact*

2.3.1 *Dispositif de retenue*

Le pilote assis dans le siège de droite ne portait pas sa ceinture de sécurité et a été éjecté de l'aéronef. Cependant, les dommages subis par l'aéronef et les forces d'impact lors de l'événement à l'étude n'offraient aucune chance de survie pour les occupants. Le fait de ne pas porter de ceinture de sécurité augmente le risque de blessure ou de décès dans un accident.

2.3.2 *Radiobalise de repérage d'urgence*

À la suite de l'impact, aucun signal de radiobalise de repérage d'urgence (ELT) n'a été capté. Les dommages au câble coaxial de l'antenne ont probablement causé la décharge rapide de la batterie. Toutefois, le bris de l'antenne et le fait que l'épave reposait sur le dos auraient rendu la détection du signal impossible. Bien que les spécifications de conception relatives à la résistance à l'impact soient rigoureuses pour l'ELT elle-même, elles n'incluent pas d'autres éléments clés du système (c'est-à-dire, le câblage et l'antenne). Les normes actuelles de conception des ELT n'imposent aucune contrainte en matière de résistance à l'impact du système d'antenne. Par conséquent, il y a un risque que l'intervention des services de recherche et de sauvetage pouvant sauver des vies soit retardée si l'antenne d'une ELT est endommagée au cours d'un événement.

---

57 Rapport d'enquête aéronautique A13H0001 du BST.

58 Rapport d'enquête aéronautique A13H0001 du BST et recommandations A16-12, A16-13, et A16-14 du BST.

3.0 *Faits établis*

3.1 *Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs*

1. La recherche de sensations, la fatigue mentale et une perception du risque altérée ont fort probablement contribué au fait qu'immédiatement après avoir terminé le travail de relevés magnétométriques, le pilote aux commandes est descendu à une altitude variant entre 100 et 40 pieds au-dessus du sol et a maintenu cette altitude jusqu'au moment de la collision avec les câbles.

2. Il est fort probable que les pilotes ignoraient qu'une ligne de transport d'électricité se trouvait sur leur trajectoire.

3. Le pilote aux commandes n'a pas discerné la ligne de transport d'électricité à temps pour l'éviter et l'aéronef a percuté les câbles, qui se trouvaient à 70 pieds au-dessus du sol.

4. Malgré l'avertissement concernant le vol à basse altitude dans le *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada*, et en l'absence de limites sur l'altitude minimale imposées par l'entreprise, le pilote a choisi de descendre à très basse altitude lors du segment de vol de retour; par conséquent, ce segment de vol comportait un niveau de risque inacceptable.

3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. Si les pilotes volent à basse altitude, ils courent des risques de collision avec des câbles, car ces derniers peuvent être extrêmement difficiles à voir en vol.

2. Si des systèmes d'enregistrement des données de vol légers ne sont pas utilisés pour faire un suivi précis des opérations de vol, il existe un risque que les pilotes dérogent aux procédures et aux limites établies, réduisant ainsi les marges de sécurité.

3. Si Transports Canada ne prend pas de mesures concrètes pour faciliter l'utilisation de systèmes d'enregistrement des données de vol légers et le suivi des données de vol, les exploitants risquent de ne pas pouvoir repérer de manière proactive les lacunes de sécurité avant qu'elles ne provoquent un accident.

4. Si les systèmes de gestion de la sécurité ne sont pas exigés, évalués et surveillés par Transports Canada afin d'assurer une amélioration continue, il y a un risque accru que les entreprises n'arrivent pas à repérer et atténuer efficacement les risques liés à leurs opérations.

5. Le fait de ne pas porter de ceinture de sécurité augmente le risque de blessure ou de décès dans un accident.

6. Les normes actuelles de conception des radiobalises de repérage d'urgence n'imposent aucune contrainte en matière de résistance à l'impact du système d'antenne. Par conséquent, il y a un risque que l'intervention de services de recherche et de sauvetage pouvant sauver des vies soit retardée si l'antenne d'une radiobalise de repérage d'urgence est endommagée au cours d'un événement.

4.0 Mesures de sécurité

4.1 Mesures de sécurité prises

4.1.1 Exact Air Inc.

À la suite de l'accident, Exact Air Inc. a effectué une campagne de sensibilisation et tenu des réunions avec tout le personnel de l'entreprise sur les causes de l'accident et le risque associé aux vols à basse altitude. Les dirigeants de GDS (le client) ont été rencontré afin d'expliquer la situation et de mettre l'accent sur la nécessité de travailler en équipe pour prévenir d'autres comportements dangereux.

Le présent rapport conclut l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 20 juin 2018. Le rapport a été officiellement publié le 5 juillet 2018.

Visitez le site Web du Bureau de la sécurité des transports du Canada (www.bst.gc.ca) pour obtenir de plus amples renseignements sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également la Liste de surveillance, qui énumère les problèmes de sécurité dans les transports qui posent les plus grands risques pour les Canadiens. Dans chaque cas, le BST a constaté que les mesures prises à ce jour sont inadéquates, et que le secteur et les organismes de réglementation doivent adopter d'autres mesures concrètes pour éliminer ces risques.